

# 毫米级 3D 自动摊铺系统在沥青路面施工中的应用

周春风 王捷 张苏龙 毛益佳

江苏东交智控科技集团股份有限公司 江苏南京 210000

DOI:

**【摘要】**针对沥青混合料路面施工中摊铺施工工序多、机械及人员要求高、工艺不合理等问题。本文结合工程实例,研究了沥青混合料路面毫米级 3D 自动摊铺控制技术,主要从 3D 摊铺控制技术的原理、沥青混合料的摊铺施工工艺、施工质量、施工效率等方面做了探讨和阐述。从工程施工后期的检测结果分析可以看出,该项技术实现了高精度摊铺的目的,技术的成功运用为今后类似沥青混凝土路面的施工提供了宝贵的参考经验。

**【关键词】**沥青路面;毫米级;3D 摊铺控制技术;工程应用

## 1 前言

沥青混凝土面层以其行车安全舒适,晴天无扬尘,雨天无泥浆,自我修复性强等优点,应用于我国高等级公路建设中,特别是东西部干旱少雨,冬夏温差大的地区被广泛使用<sup>[1]</sup>。但是目前沥青混凝土路面早期破坏现象比较严重,沥青混凝土路面施工的精细化施工就尤为重要,其中沥青混凝土的摊铺环节尤为重要。传统的路面摊铺施工工序比较多,对机械及人员的配合,天气等各方面要求都比较高,在转弯、超高曲线和其它横坡变化的设计中,准确地设置挂线几乎是不可能做到<sup>[2]</sup>。随着科技日新月异的发展,逐渐出现了路面 3D 摊铺的理念,通过应用高精定位、智能传感器、三维建模、数据分析等先进的信息技术,使传统的路基施工机械长了眼睛,有了感觉,使路面施工中难以控制的平整度,得以精确实现,大大简化了施工程序。特别是减少了测量频率,提高了效益,控制了质量<sup>[3-4]</sup>。卢俏宇等<sup>[5]</sup>阐述了 3D 技术摊铺系统的主要设备与工艺流程,并结合柳州至南宁高速公路改扩建工程实例,分析了 3D 自动化摊铺技术应用于路面施工的效果。刘付旭<sup>[6]</sup>介绍了 3D 自动化摊铺机控制系统的施工作业流程,并对比传统施工工艺,分析了 3D 自动化摊铺系统施工的优势。为 3D 摊铺技术的发展提供了宝贵的经验。

### 2 3D 摊铺技术原理

#### 2.1 技术原理

摊铺机是用于铺筑结构层、面层的主要机械。3D 摊铺机自动控制系统施工时架设在控制点上的全站仪将捕获的坐标通过数据电台实时传送到摊铺

机控制系统的控制箱中,显示控制箱同设计数据进行对比后再将高程修正信息传递给自动控制箱,这时由控制箱发出指令,通过液压阀驱动液压油缸使牵引大臂产生一定量的位移,左右牵引点位置改变引起熨平板相应方向的垂直运动,从而使填筑产生坡度和高程变化,弥补路面波动,实现所要求的路面平整度,满足摊铺设计要求。

#### 2.2 系统组成

3D 沥青路面高精度摊铺系统主要由四部分组成,摊铺机系统、GPS 系统,激光系统,控制系统。四大系统相互辅助、高度融合,实现沥青混合料摊铺施工的自动化、智能化、高精度化。涉及的硬件见表 1。

表 1 3D 摊铺系统设备清单

序号	设备名称	功能描述
1	全站仪智能机器人	测量靶机位置,并通过数字电台把靶机位置信息传给控制箱。
2	坡度传感器	坡度传感器测量横坡,通过 CAN 总线把测量结果传给控制箱。
3	角度传感器	采集摊铺时接收靶机定位杆相对于安装时接收靶机定位杆的角度偏离信息。
4	2D 控制箱	显示当前高程、设计高程、当前坡度、设计坡度等信息。把三维控制箱提供的改正信息通过 CAN 总线提交到阀模块。
5	靶标	主动发射信号给全站仪,方便全站仪测量棱镜 3 维坐标

续表

序号	设备名称	功能描述
6	3D 控制箱	装载 3 维设计文件。 显示当前高程、设计高程、当前坡度、设计坡度等信息。 接收各个传感器采集的数据,与设计数据进行对比并把结果发送到 2 维控制箱。
7	数字电台	接收全站仪发射的靶标位置信息

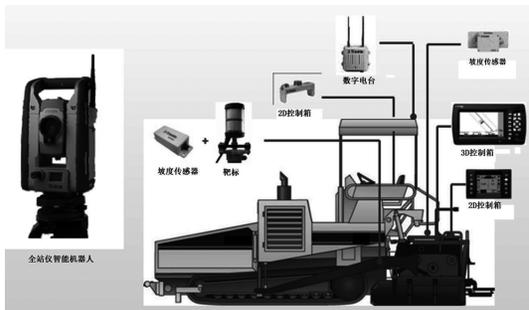


图 1 3D 摊铺系统示意图

### 3 现场实施方案

#### 3.1 试验方案

为了对比 3D 摊铺施工和传统摊铺施工的差异,试验按照两种方法平行施工,具体要求如下。

##### (1) 系统配置

一套 3D 摊铺控制系统+一套传统控制系统。

##### (2) 方案说明

摊铺机 1 安装 3D 摊铺控制系统,摊铺机 2 采用传统 2D 摊铺控制方式,图 1 为试验方案示意图。摊铺机 1 右侧安装靶标,由全站仪智能机器人引导控制;左侧使用横坡传感器进行控制。左右两侧均不需要放桩挂线/铝梁。Paver 1 is

摊铺机 2 左侧使用传统 2D 方式参照摊铺机 1 已经摊铺好的表面,以保证完好的接缝;右侧仍需要人工放桩挂线/铝梁,并使用传统 2D 控制方式进行摊铺。

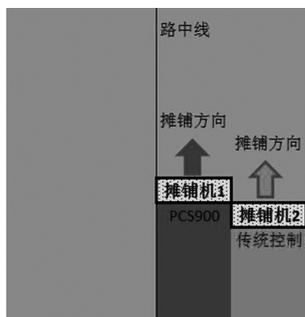


图 2 摊铺方案示意图

#### 3.3 试验数据采集方案

为了对比传统摊铺和 3D 摊铺施工技术在人员、效率、质量等方面的差异。按照每公里为一个单元,3D 摊铺数据采集段落和传统施工段落各一公里,对应的桩号为北半幅 K31+000-K32+000 和 K32+000-K33+00,数据采集要求如下。

##### 3.3.1 人员数据

针对本试验段的人工消耗统计,采集 3D 摊铺施工和传统施工两种状态下,分别消耗的劳务工人(辅助作业人员)、机械操作人员(摊铺机驾驶人员)、测量人员(工程技术人员)、检测人员等的工时消耗量。

##### 3.3.2 线型检测 Line detection

现场碾压结束后,在 3D 摊铺和传统摊铺区域内,分别利用全站仪,测量摊铺区域中心的坡度,数据采集密度为每 100 米生成一个坡度数据。

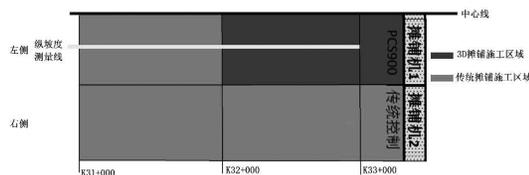


图 3 线型检测方案

##### 3.3.3 质量检测数据采集

###### (1) 厚度

①全站仪测量法:采用全站仪测量摊铺施工前后同一点的高程差,每 10 米一个断面,每个断面采集 6 点,分别为左侧摊铺机施工断面 3 点,右侧摊铺机施工断面 3 点。生成 3D 摊铺区域和传统摊铺区域厚度云图。

②钻芯取样法:采用钻芯机,在 K32+000-K33+00 范围内,每 200 米一个断面,每个断面采集 6 点,分别为左侧摊铺机施工断面 3 点,右侧摊铺机施工断面 3 点。在 K31+000-K32+000 内,在左侧摊铺机施工区域,每 200 米一个断面,每个断面取 3 点。

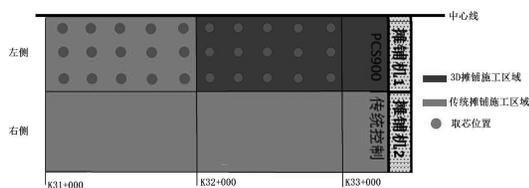


图 4 取芯检测方案

###### (2) 压实度

将钻芯的获得芯样,进行标记,利用马歇尔法测量,每个芯样的压实度。

(3)平整度

采用八轮仪,测量 3D 摊铺段落和传统施工段落路面平整度。

## 4 试验数据分析

### 4.1 人员数据

通过施工现场统计,可知沥青路面施工涉及的工种有 7 类,分别为:摊铺机机械控制及驾驶员、表面处理人员、接缝处理人员、路面处理人员、测量控制人员、质量检测人员、管理人员。由表 2 可知,采用 3D 摊铺施工技术,每台摊铺机需要的人工数量为 12 人;采用传统摊铺施工技术,每台摊铺机需要的人工数量为 20 人。因此,采用 3D 摊铺施工技术可节约人力资源 40%。

表 2 人工消耗统计

序号	人员情况	3D 摊铺/人	传统摊铺/人
1	摊铺机机械控制及驾驶员	3	3
2	表面处理工人	2	3
3	接缝处理工人	1	3
4	路面处理工人	1	3
5	测量控制人员	2	4
6	质检员	1	1
7	管理人员	2	3
合计		12	20

### 4.2 线型检测

通过全站仪,获得 K31+000-K32+000 和 K32+000-K33+00 左侧摊铺区域中心线的纵向坡度。传统摊铺区域 K31+000-K32+000,每 100m 获取一个纵坡度,共 10 个数据;3D 摊铺区域 K32+000-K33+000,每 100m 获取一个纵坡度,共 10 个数据。具体数据见表 3。由表可知,采用 3D 摊铺施工技术,纵坡的变异系数 CV 为-0.54,传统摊铺施工技术,纵坡的变异系数 CV 为-1.43,表明采用 3D 摊铺施工技术可以更好的控制线型,坡度控制较为精确。

表 3 线型检测数据

序号	传统摊铺施工		3D 摊铺施工	
	桩号	纵坡度(%)	桩号	纵坡度(%)
1	K31+000	0.02%	K32+000	-0.14%
2	K31+100	-0.10%	K32+100	-0.14%
3	K31+200	-0.01%	K32+200	-0.14%

续表

序号	传统摊铺施工		3D 摊铺施工	
	桩号	纵坡度(%)	桩号	纵坡度(%)
4	K31+300	-0.04%	K32+300	-0.12%
5	K31+400	0.01%	K32+400	-0.05%
6	K31+500	-0.21%	K32+500	-0.04%
7	K31+600	-0.03%	K32+600	-0.07%
8	K31+700	0.00%	K32+700	-0.09%
9	K31+800	-0.02%	K32+800	-0.06%
10	K31+900	-0.15%	K32+900	-0.01%
11	K32+000		K32+000	
统计分析	标准差 SD	0.08%	标准差 SD	0.05%
	平均值	-0.05%	平均值	-0.09%
	变异系数 CV	-1.43	变异系数 CV	-0.54

### 4.3 质量检测数据采集

#### 4.3.1 厚度

(1)全站仪测量法图 2 为采用全站仪测量法获得的沥青面层厚度云图,从图中可以看出,3D 摊铺施工区域厚度均匀,误差控制在 1cm 以内,传统施工区域,局部区域出现摊铺过厚或偏薄的现象,图中蓝色区域为摊铺过厚超过 1cm 以上的区域,红色部分为摊铺偏薄超过 1cm 以上的区域。

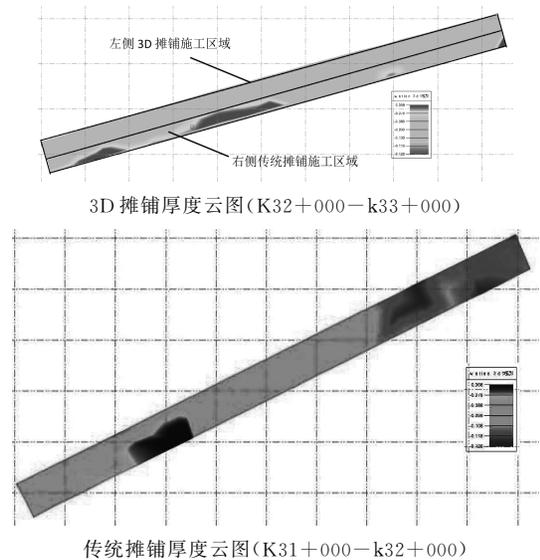


图 5 厚度云图

#### (2) 钻芯取样法

根据取芯检测方案进现场钻芯取样,并利用游标卡尺测量每个芯样 3 处的高度,取其平均值作为该处取样点的层厚,共获得 30 组数据,具体数据见

表4。由表可知,采用3D摊铺施工技术和传统摊铺施工技术厚度的平均值分别为79.3mm和83.3mm,均满足规范要求,但是传统摊铺厚度偏大,造成沥青混合料的浪费,增加了建设成本。从厚度均匀性方面分析可知,3D摊铺施工技术和传统摊铺施工技术厚度的标准差分别为1.011和6.539,表明3D摊铺施工技术控制厚度的性能远高于传统摊铺技术。

表4 钻芯取样厚度检测数据

3D 摊铺施工			传统摊铺施工		
测点位置		厚度 (mm)	测点位置		(mm)
桩号	横距(m)		桩号	横距(m)	
K32+900	2	78.5	K31+900	2	81.5
	4	78.6		4	85.2
	6	79.6		6	86.9
K32+700	2	80.1	K31+700	2	91.6
	4	79.3		4	90.3
	6	78.9		6	95.7
K32+500	2	78.6	K31+500	2	73.5
	4	79.3		4	84.4
	6	80.4		6	78.4
K32+300	2	79.9	K31+300	2	76.6
	4	80.4		4	75.9
	6	79.3		6	88.6
K32+100	2	80.2	K31+100	2	82
	4	79.9		4	82.9
	6	76.5		6	75.8
数据类型		测点数 (点)	规定值 (mm)	平均值 (mm)	标准差
3D 摊铺施工		15	80	79.3	1.0
传统摊铺施工		15	80	83.3	6.5

#### 4.3.2 压实度

利用马歇尔法,将现场钻芯取得的芯样,进行压实度的测试,共获得30组数据,具体数据见表5。由表可知,采用3D摊铺施工技术和传统摊铺施工技术

压实度代表值均大于98,压实质量均合格。但是3D摊铺施工区域压实度的标准差为0.947,远小于传统摊铺施工区域压实度的标准差2.612,这是由于3D摊铺技术,控制厚度较为均匀,在同样的碾压条件下,压实质量也较为均匀。

表5 压实度检测数据

3D 摊铺施工			传统摊铺施工		
测点位置		压实度 (%)	测点位置		压实度(%)
桩号	横距(m)		桩号	横距(m)	
K32+900	2	98.5	K31+900	2	98.0
	4	100.6		4	101.1
	6	98.5		6	101.5
K32+700	2	100.7	K31+700	2	100.2
	4	98.9		4	99.1
	6	99.5		6	98.9
K32+500	2	98.1	K31+500	2	97.6
	4	99.9		4	98.7
	6	100.9		6	99.2
K32+300	2	98.8	K31+300	2	100.2
	4	100.0		4	98.3
	6	100.4		6	99.9
K32+100	2	100.0	K31+100	2	99.6
	4	98.5		4	101.0
	6	100.4		6	108.6
数据类型	测点数 (点)	规定值 (%)	平均值 (%)	标准差	代表值(%)
3D 摊铺施工	15	98	99.6	0.9	99.1
传统摊铺施工	15	98	100.1	2.6	98.9

#### 4.3.3 平整度

Planeness 沥青路面施工完成后通过八轮平整度仪对3D摊铺和传统摊铺施工效果进行检测,结果见表6。

表6 压实度检测数据

工艺	桩号	检测点数	允许值(mm)	平均值(mm)	最大值(mm)	最小值(mm)	合格率(%)
3D 摊铺施工	K32+000-K33+00	24	1.2	0.58	0.71	0.33	100
传统摊铺施工	K31+000-K32+000	24	1.2	1.4	1.79	0.89	70

由表 6 可知,采用 3D 摊铺工艺进行沥青路面施工,平整度均小于允许值(1.2mm),合格率为 100%;采用传统摊铺工艺进行沥青路面施工,平整度波动较大,最大值为 1.79mm,大于允许值,合格率仅为 61%,表明 3D 摊铺工艺可以较好的提升路面平整度。

## 5 结论

3D 摊铺技术无需放桩、无需架设铝梁大幅减少

施工测量工作,现场可以快速投入到工作状态,采用数字化施工可减少测量及辅助人员 40%左右,使施工现场更加简洁高效,减少潜在的安全隐患,可以实现毫米精度级别的控制,摊铺精度提高 30%左右,摊铺机智能摊铺无需操作员控制熨平板标高和横坡,工作效率相较传统施工能提升 50%左右,减少对基层平整度的依赖,能最大限度保证摊铺面的精度在误差范围内。

## 【参考文献】

- [1] 游长峰,明连印. 沥青混凝土路面的早期问题与预防对策[J]. 黑龙江交通科技, 2013(12):47-47.
- [2] 郭小宏,郭嘉银. 高等级沥青砼路面机械化施工的理论及实践(V):——施工机械[J]. 重庆交通大学学报, 1995, 14(4):44-49.
- [3] Lei Xiaolei, Li Gang. 3 Applied Research of 3D Paving Control Technology in Asphalt Pavement Works [J]. Road & Traffic Engineering, 2018(5):20-24.
- [4] Zu Mingxing. Research on 3D Intelligent Paving Application of Asphalt Concrete Pavement [J]. Road Engineering, 2018, 136(11):17-20.
- [5] 卢俏宇,周洪剑. 公路工程 3D 技术路面施工应用分析[J]. 西部交通科技, 2018, No. 128(03):26-29+148.
- [6] 刘付旭. 浅谈 3D 自动化摊铺系统在公路工程施工中的应用[J]. 西部交通科技, 2018(3):23-25.